
「わが眼にあらた」

寺田寅彦と複雑系生命科学

佐藤 和弘*

§ 1 はじめに

寺田寅彦との出会いが一体いつ頃のことであったか、著者にはもうその記憶がない。長い間、寺田寅彦といえば、夏目漱石の『吾輩は猫である』に登場する水島寒月のモデルであるとか、物理学者でありながら一風変わった研究（花びらの落ち方とか金米糖の角のでき方とか）に没頭していたとか、「天災は忘れた頃にやってくる」という名文句を残したとかいう程度の、漠然とした認識しか持っていなかった。明治生まれの物理学者である寺田寅彦（以下寅彦と略）は、著者にとって遠い過去の人であった。ところが最近、寅彦のエッセイを池内了が編集した『科学と科学者のはなし』（岩波少年文庫、2000）を一読したことにより、著者の認識は一変した。

すでに多くの人が指摘しているように、寅彦は複雑系研究の先駆けである。寅彦のエッセイには、非線形物理、自己秩序形成、カオス、フラクタル、ゆらぎなどに関わる多くの記述が散りばめられている。しかし著者が本当に驚き、寅彦への認識を改めたのは、これら物理学と強く関わる部分によるのではない。著者が驚いたのは寅彦の生命に関する鋭い洞察の部分によってである。寅彦のエッセイには、アポトーシス、サイズの生物学、1/f ゆらぎ、免疫などに関する驚くべき先駆的な考察がある。生命は複雑系の典型であり、万事に好奇心の強い寅彦が、物質世界だけではなく複雑系としての生命現象にも深い関心を示したことは何の不思議もない。この小論文では、『科学と科学者のはなし』に収録されたエッセイを主軸に、寅彦と複雑系生命科学について論じてみたい。

§ 2 物理学者としての寅彦

周知のように、漱石の『猫』に登場する水島寒月は寅彦をモデルにしている。寒月は東京帝大卒の理学士という設定で、大学院で地球の磁気の研究をするかたわら、「首くりの力学」の講演をしたり、「団栗のスタビリティを論じて併せて天体の運行に及ぶ」という論文を書いたりしている。執筆中の博士論文は「蛙の眼球の電動作用に対する紫外光線の影響」というものであり、実験の必要から蛙の眼の代わりにレンズ磨きに日夜没頭している。岩波文庫の注では「一見まことしやかだが実はふざけた研究題目」とか「一見もっ

ともらしいが実はふざけた題目」とされているが、誇張の部分を別にすれば、案外そうでもないと思われている。

実際の寅彦は明治11年（1878）東京に生まれ、旧制高校時代を熊本で過ごした。ここで英語の教師であった漱石と出会い、生涯俳句の弟子となった。その後東京に去った漱石のあとを追うように、明治32年（1899）東京帝国大学理科大学物理学科に進学し、大学院では実験物理学を専攻した。東京で漱石との親交がさらに深まったことは言うまでもない。帝大助教授時代には結晶によってX線が回折されてできるラウエ斑点（干渉パターン）の実験的研究に取り組んだ。大正5年（1916）には教授になり、翌年40歳で学士院恩賜賞（「ラウエ映画の実験的方法及び其説明に関する研究」）を受賞している。その後、航空研究所、理化学研究所、地震研究所などの所員を兼任し、地震、津波、火山、気象など地球物理学の研究にも深く関わった。大正12年（1923）の関東大震災の際は被害調査に従事している。なお防災に関する「天災は忘れた頃に…」という警句は、寅彦がふだん周りに言っていた言葉で、弟子の中谷宇吉郎が紹介したことから一躍有名になった（寅彦の著作の中にはない）。昭和10年（1935）に57歳で没するまで、寅彦は267編の学術研究論文を出版しているが、これは帝大教授として申し分のない業績数である。また寅彦は「物理学における統計的現象」と題して、金米糖の角、電車の混雑などの例を引きながら学生を相手に講義をしたらしいが、その声は小さくて聞き取りにくかったという。

帝大教授として多忙な日々を送っていた寅彦は、41歳（1919）の時突然胃潰瘍で倒れ、二年間の自宅療養を余儀なくされた。エッセイの執筆はこの長期療養中に始まった。大正12年（1923）には最初の随筆集が出版され、その後没するまでの約12年の間に、ペンネーム（吉村冬彦）あるいは本名を用いて三百編近いエッセイを執筆した。複雑系、境界領域科学、生命科学などに関する鋭い観察と深い洞察は、これらのエッセイの随所に見出すことができる。残念なことに学術論文の形で残っているわけではない。

§ 3 複雑系の先駆者としての寅彦

寅彦は本業の物理学実験ばかりではなく、身の周りで起きるありふれた現象にも旺盛な好奇心を持っていた。そしてその現象の由来であるとか、背景に隠された原理や法則性に常に考えをめぐらせていた。これは複雑系科学の基本的立場に他ならない。複雑系になじみの少ない読者のために、まず簡単に複雑系の説明をしよう。何をもって複雑系というのか、実ははっきり決まった定義はない。平たく言えば、構造が複雑だったり振舞いが複雑だったりして、従来の研究手法では歯が立たないシステムのことを一般に複雑系と呼んでいる。その意味ではわれわれの周りのいたるところに複雑系が満ち溢れており、むしろ単純なシステムに出会う方がまれである。

少し前までは、系が複雑な振舞いを示すのはそれを支配する法則が複雑だからであり、

そのような系を取り扱うことは難しいと考えられていた。しかし流体の不規則な運動が簡単な微分方程式から導かれることをLorenzが示し、それが契機となってカオスという現象（決定論的であるにもかかわらず不規則な振舞い）が発見されると、その後は次々にカオスと見なされる現象やカオスを導く簡単な数理モデルが見出されるようになった。また簡単な複素写像から自己相似的で複雑なパターンが生成されることにMandelbrotが気づきそれをフラクタルと名づけると、自然界の複雑な構造の多くが実はフラクタルであることが明らかになった。

カオスとフラクタルの発見は我々の自然観に一つの革命もたらした。すなわち、振舞いが複雑だからといって必ずしもその法則が複雑だとは限らない、なぜなら簡単な規則からいくらかでも不規則さや複雑さが生み出されるからである。この発想の大転換は、さまざまな分野の研究者に強いインパクトを与えた。そしてそれまで敬遠されてきた複雑なシステムに意欲的に取り組み、不規則な振舞いや複雑な振舞いの背後に潜む原理や法則性を明らかにしようとする研究が増えた。複雑系の研究には学問領域の境界がなく、カバーする範囲も広大である。これを複雑系科学の始まりとするならば、その歴史は20～30年ということになる。Lorenzによるカオスの発見まで遡っても高々40年である。

寅彦のエッセイはカオスやフラクタルに関わる記述に溢れている。たとえば『茶碗の湯』（1922）では、茶碗から立ちのぼる湯気を例に引いて、規則的な層流が渦となりそれがやがて乱れていく様子を描写している。『電車の混雑について』（1922）では、混雑時においては電車の駅到着時刻が等間隔ではないことを指摘し、その由来を統計学的に論じている。『花火』（1924）では煙の団塊が複雑な渦運動ののち次第に拡散して行く様子を描写したあと、関東大震災による二次的火灾被害で、被服廠跡地に発生した火焰（熱旋風）に言及している。『線香花火』（1927）では、灼熱した火の玉の中から火花が二段三段に破裂する様子を描写し、これは科学の重要な基礎問題であると述べている。『金米糖』（1927）では、なぜ金米糖に角が生えるのか、それは「偶然の統計的異同」すなわちゆらぎが成長するからだとして述べている。そしてこの現象は「物理全般の基礎問題と必然に本質的に関連する」と続け、さらには生命に対してはいままで無力だった物理も、ゆらぎの研究が鍵となって物質と生命の間に橋かけができるのではないかと述べている。

『物理学圏外の物理現象』（1932年1月）や『自然界の縞模様』（1933年2月）というエッセイでは、寅彦の興味が一气呵成に縦横無尽に語られている。衝撃により生じるガラス板のひび割れと放電像との関係、浸透や吸着によるデンドライト（樹状構造）の成長、金米糖の角の成長、露の流れの落下合流による樹枝状パターンの形成、「墨流し」と雲のパターンの類似性、「粉体」の振舞い、燃え広がる火の不規則なパターン、実験室における割れ目研究とその地震学への応用などなど。ここで挙げた例に限っても、秩序からカオスへの転移、ゆらぎを種とする秩序形成、自己組織臨界現象、粉体の力学、フラクタルパターンの形成など、複雑系研究の中心的課題に溢れている。

エッセイの中で寅彦はまた「その当代の流行問題とはなんの関係も無くて、物理学の圏外にあるように見える事柄の研究でも、将来意外に重要な第一線の問題への最初の歩みと

なり得ないとは限らない」と述べている。「これらの実験的研究には必ずしも高価な器械や豊富な設備はいらないので、中等学校でも家庭でも研究ができる」とも書いている。いずれも含蓄のある言葉である。複雑系の重要課題を、寅彦はほぼ余すところなく指摘し、実験もし、一般への啓蒙さえしていたのである。複雑系科学の先駆者として寅彦のことを誰もが高く評価するのは当然である。

§ 4 生命科学の先達としての寅彦

『金米糖』のところでも触れたように、寅彦の好奇心は物質世界から生命現象にまで広がっていた。それも単なる興味ではなく、生命現象を物理学的に解明するという強い意思を寅彦は持っていた。『春六題』（1921、新文学）で寅彦は、「物質と生命の間に橋がかかるのはまだいつのことか分からない」が、「最も複雑な分子と細胞内の微粒との距離ははなはだ近いように見える」と述べている。そして生命を物理学で説明することに嫌悪を感じる人たちに対して、「生命の物理的説明とは生命を抹殺することではなくて、逆に『物質の中に瀰漫する生命』を発見することでなければならない」と反論している。また『物質群として見た動物群』（1933、理学界）では、「簡単な無機的な現象から有機的現象の機構を説明しようという努力を異端視して、『生物の事は物理ではわからぬ』というのは誠に遺憾なことだ」と憤慨している。そして「科学の進歩を妨げるものは素人の無理解ではなくて、いつでも科学者自身の科学そのものの使命と本質とに対する認識の不足である。深くかんがみなければならない次第である」と述べている。最後の言葉はとても重い言葉である。科学の世界に限ったことではない。この節では寅彦と複雑系生命科学との関係について議論する。

1) アポトーシス — 遺伝子に制御された細胞死

細胞の「死」についての理解が深まったのはつい最近のことである。従来の生物学では、細胞の死といえばネクローシス（壊死）というのが常識であった。細胞がネクローシスによって死ぬ場合は、まず細胞内のミトコンドリア（エネルギー供給源）の機能が低下し、細胞膜のイオンポンプが働かなくなり、浸透圧によって細胞内に流入した水分によって細胞は膨潤し、やがて細胞膜が崩壊されて内容物が外部にあふれ出る。その結果周辺には炎症反応が起きる。

ところが30年ほど前、ネクローシスとはまったく異なるタイプの細胞死が発見された。この細胞死のプロセスは、ネクローシスのそれとは際立った違いがあった。すなわち細胞内小器官にはこれといった変化が見られないのに、細胞核内の染色体が突然凝集をはじめ、DNAがある単位で断片化する。細胞自身は縮小していき、ついにはいくつかの小片に分裂する。これらの小片は集まってきた食細胞に吸収される（図1参照）。このような細胞死

のことをアポトーシスという。壊死では損傷を受けた一塊の細胞群が長い時間（数日）をかけて死んでいくのに対し、アポトーシスでは細胞死が散発的に、しかも短い時間（数時間）で完了する。アポトーシスの発見が遅れたのは、あまりにも忽然と細胞が姿を消すために、その現場になかなか立ち会う（観察する）機会がなかったためであろう。

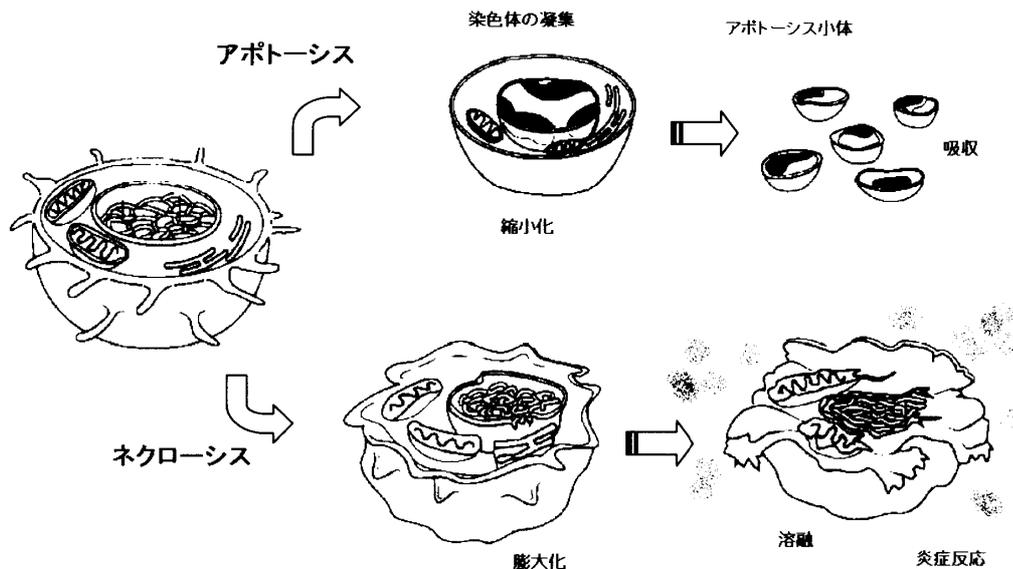


図1 アポトーシスとネクローシス

細胞の死には二通りがある。ネクローシス（壊死）は受動的な細胞死、アポトーシスは能動的な細胞死である。後者は遺伝子に支配された死のプログラムが発動するので、細胞の自殺と呼ばれている。田沼靖一『遺伝子の夢』NHKブックス（1997）の図を元に作成。

秋に枯葉が落ちるのも、実は葉の付け根の細胞がアポトーシスを起こし、枝を離れるためである。また動物の発生の過程では、ある決まった時期に決まった場所の細胞群が一斉に死んでいく（昆虫の変態、おたまじゃくしの尾の消失、指の形成過程など）。すなわちある一群の細胞が消失することによって生物のかたち作り（形態形成）が完成する。この現象も実はアポトーシスによる。何らかのスイッチが入ると細胞はみずから能動的に死ぬ（自殺）ことができるのである。アポトーシスは遺伝子にプログラムされ、遺伝子に支配された高度で組織的な細胞死のメカニズムである。なおアポトーシスは合成語であり、「離れて」「落ちる」という意味である。

アポトーシスは動物の形態形成の過程だけではなく、もっと広範囲にそして恒常的に起きる現象である。脳では神経細胞の約50%が死ぬことにより、機能するネットワークが自己組織化されていく。胸腺では97～99%のヘルパーT細胞が「教育」の過程で死に、生き残ったわずかなT細胞だけが胸腺を出て、免疫系の司令塔として活躍する（免疫の項も参照）。皮膚や消化器官の上皮細胞、赤血球などは消耗品であり、ある期間働いた後死んでしまう。これらはいずれもアポトーシスによる細胞死である。何らかの理由でDNAに

損傷（異常）が生じ、それを修復できない細胞の場合も、アポトーシスのスイッチが入って自発的に消失する。生体にとってアポトーシスは不可欠の機構である。もしアポトーシスの制御に何らかのトラブルが生じるとそれは重大な脅威となる。発生過程の場合であれば奇形を、胸腺でのT細胞教育の場合であれば自己免疫疾患を、DNA損傷細胞排除の場合であれば癌をそれぞれ発症する危険が大きい。

ここで次の「引用1」を読んでいただきたい。

引用1

それはとにかく、このように植物界の現象にも、やはり一種の「潮時」とでもいったようなものがあることは、これまでたびたび気づいたことであった。たとえば、春季に庭前の椿の花の落ちるのでも、ある夜のうちに風もないのにたくさん一時に落ちることもあれば、また、風があってもちっとも落ちない晩もある。この現象が統計的形式から見て、いわゆる地震の生起とよく似たものであることは、すでに他の場所で報告したことがあった。

もう一つ良く似た現象としては、銀杏の葉の落ち方が注意される。自分が関係している研究所の居室の窓外にこの樹の大木のこずえが見えるが、これが一様に黄葉して、それに晴天の強い日光が降り注ぐと、屋内までが黄金色に輝きわたるくらいである。秋が深くなると、その黄葉がいつのまにか落ちてこずえがしだいにさびしくなっていくのであるが、しかしその「散り方」はどうであるかについては、去年の秋まで別に注意もしないでいた。ところが去年のある日の午後、なんの気なしにこの樹のこずえをながめていたとき、ほとんど突然に、あたかも一度に切って散らしたようにたくさんの葉が落ち始めた。驚いて見ていると、それから十余間をへだてた小さな銀杏も同様に落葉を始めた。まるで申し合わせたように、濃密な黄金色の雪を降らせるのであった。不思議なことには、ほとんど風というほどの風もない、というのは落ちる葉の流れがほとんど垂直に近く落下して、樹枝の間をくぐりくぐり脚下に落ちかかっていることで明白であった。なんだか少しものすごいような気持ちがあった。何かしら目に見えぬ怪物が樹々を揺さぶりでもしているか、あるいはどこかでスイッチを切って電磁石から鉄製の黄葉をいっせいに落下させたともいったような感じがするのであった。ところがまた、今年の11月26日の午後、京都大学のN博士と連れ立って上野の清水堂の近くを歩いていたら、堂のわきにあるあの大木の銀杏が、突然にいっせいに落葉を始めて、約1分くらいの間、たくさんの葉を落とした後に再び静穏に復した。その時もほとんど風らしい風はなくて、落葉は少しばかり横になびくくらいであった。N博士も初めてこの現象を見たと言って、おもしろがりまた喜びもしたことであった。

この現象の生物学的機巧についてはわれわれ物理学の学徒には想像もつかない。しかし葉という物質が枝という物質から脱落する際は、ともかくも一種の物理現象が発現していることも確実である。このことはわれわれにいろいろな問題を暗示し、またいろいろの実験的研究を示唆する。もし植物学者と物理学者と共同して研究することができたら、案外おもしろいことにならないとも限らないと思うのである。

（『藤の実』1933年2月より）

研究室の窓外の銀杏が一斉に葉を散らせるのを見た寅彦は、「なんだか少しものすごいような気持ちでした」、「どこかでスイッチを切って電磁石から鉄製の黄葉をいっせいに落下させたとしてもいったような感じがする」と記している。電子顕微鏡によるアポトーシスの発見は1972年（カー、ワイリー、キュリー）とされている。歴史を遡れば1962年には高木が枯葉の「立ち枯れ壊死」を、1932年にクララが暗調細胞の観察を報告している。寅彦はクララと丁度同じ時期に、枯葉の落下現象に出会い、その背後に尋常ではないメカニズムがあることを直観していたことになる。「スイッチを切っていっせいに落下させた」という表現は、アポトーシス現象の本質に迫るものである。寅彦はまた「この現象は物理学では想像もつかないが、植物学者と共同して研究することができたら案外おもしろいことになるかも知れない」と言っている。この共同研究が実現し、細胞レベルで落葉の研究が進んでいたら、アポトーシス研究の歴史は変わっていたかも知れない。

2) 1/f ゆらぎの謎 — 不規則な変動の背後に隠れた法則性

人は一定不変であるとか完璧なリズム（周期性）にはどうもなじめないらしい。小さな変動、間隔のずれといった「ゆらぎ」がなかに含まれていると、むしろ心地よく感じることが多い。ゆりかごは母親（人）が揺するからこそ赤ん坊が心地よい眠りにつくのだろうし、ぶらんこやロッキング・チェアも同様である。風、木漏れ日、河のせせらぎ、入江のざわめきなどは身近にありふれた現象であるが、ここにも適当なゆらぎがある。さらに注意すれば、板の木目（樹の年輪）、畳のいぐさ模様、瓦屋根、古い街並み、森林、重畳たる山並みにもゆらぎが含まれている。我々は無意識にそれらのゆらぎを感知し、こころに安らぎを得ているのであろう。

ゆらぎ（不規則な変動）を周波数に分解し、その強度（スペクトル強度）を調べると、多くの場合、ゆらぎのスペクトル強度は低い周波数から高い周波数へと強度が単調に減少していく。それが周波数 f の関数として $1/f$ の形になるとき、それを「エフ分の一」ゆらぎと呼んでいる。

$1/f$ ゆらぎは実は自然界に普遍的に観察される現象である。巨視的スケール（宇宙、銀河、地球）から微視的スケール（原子、分子、素粒子）まで、自然界のいたるところに $1/f$ のゆらぎが潜んでいる。私たち自身の体内にも $1/f$ ゆらぎがある。呼吸、心拍、脳波などは $1/f$ でゆらいでいる。図2は心拍間隔が顕著な $1/f$ ゆらぎを示すグラフである。このゆらぎはまた健康の証でもある。心臓になんらかの支障が生じると心拍間隔が規則的になることが分かっている。ゆらぐということは変化に対応できるということであり、ゆとりと活力を意味する。遠足でも元気があるうちは突然走り出したり立ち止まったりと不規則だが、ひどく疲れてくると歩みが妙に規則的になることを思いだそう（倒れないように足を交互に出すだけ）。

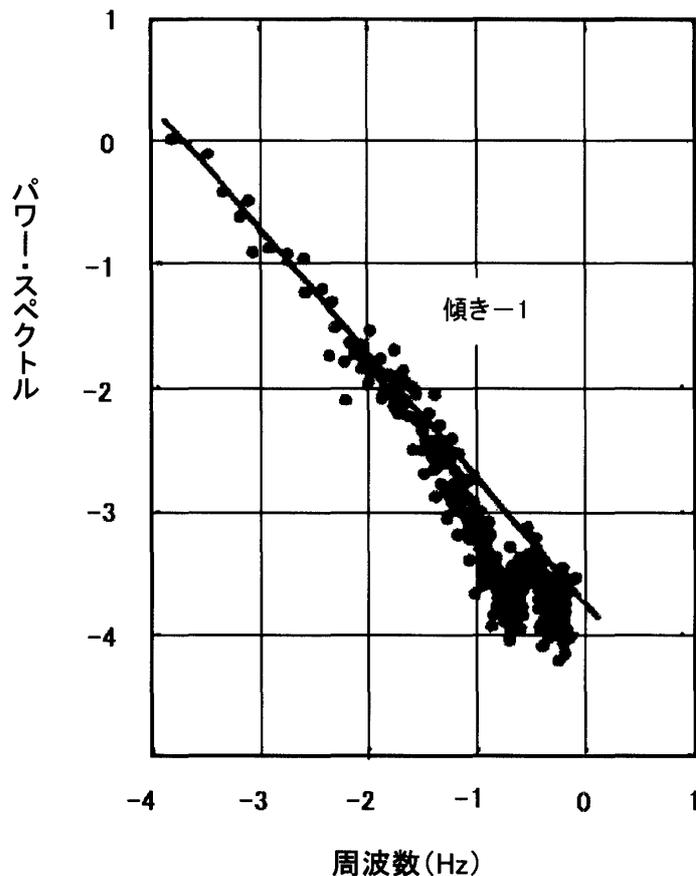


図2 1/f ゆらぎスペクトル

心臓の鼓動の間隔は決して一定ではなく不規則にゆらいでいる。周波数を横軸、ゆらぎのスペクトル強度を縦軸に取り、その関係を両対数グラフにプロットすると、データが傾き-1の直線上に乗ることが分かる。これは自然界に広く観測される1/f ゆらぎの一例である。武者利光『ゆらぎの発想』NHK出版(1994)の図を元に作成。

これだけの普遍的がありながら1/f ゆらぎの由来は必ずしも明らかではない。しかし多くの研究が示唆しているのは1/f ゆらぎと臨界現象との関わりである。良く知られているように、臨界状態ではスケール不変性が成り立ち、それがさまざまな分布関数のべき法則となって現れる。べき指数の値にはモデルの詳細にはよらない普遍性 (universality) が成り立つ。複雑系では自律的に臨界状態が形成される場合が多く、そこではやはりスケール不変性が成り立っている。そして複雑系が示すこの臨界性が、1/f ゆらぎ (べき指数-1の臨界ゆらぎ) の源ではないかと予測されている。複雑系と1/f ゆらぎは地下の水脈で繋がっているのかも知れない。

この予測を裏付けるように、自然法則とは何の縁もない人間社会や組織体 (やはり複雑系) においても1/f ゆらぎが観測されている。例を挙げると、交通流のゆらぎ、インターネットの packets 流のゆらぎ、株価や為替レート変動のゆらぎなどである。規則で固めたような政治、法律、教育の世界にも実は適度なゆらぎが必要で、それが我々によくなじむのは1/f の場合かもしれない (無理に規制すれば1/f から外れて長続きしない?)。心臓だ

けでなく、こころの健康にも1/f ゆらぎは欠かせないのかも知れない。

ここで次の「引用2」を読んでいただきたい。

引用2

たとえば耳の利用として次のようなことも考えられる。

すべての音は蓄音機のレコードの上に曲線として現される。反対にすべての周期的ないし擬周期的曲線は音として現すことができる。たとえば験潮儀に記録されたある港の潮汐昇降の曲線をレコード盤に刻んでおいてこれを蓄音機にかければ、たぶんかなり美しい楽音として聞かれるであろう。そうしてその音の音色はその港々で少しずつちがって聞かれるであろう。そこでこのようにして「潮汐の唄」を聴くことによって、各地の潮汐のタイプをある程度まで分類することができるかもしれない。あるいはまたこの方法によって、調和分析などにはかからない潮汐異常や、地方的固有振動を発見することもできるかもしれない。

またたとえば、ひと月中の気圧の日々の変化の曲線を音に直して聞けば、月により、またその年によっていろいろの音が聞かれるであろう。その音を聞いてその次の月の天候を予測するようなことも、まったく不可能ではないかもしれない。

同じように米相場や株式の高下の曲線を音に翻訳することもできなくはないはずである。

たとえば浅間温泉から眺めた、日本アルプス連峰の横顔を「歌わせる」ことも可能である。人間の横顔の額から顎までの曲線を連ねて「音」にして聴き分けることも可能である。

(『音の世界』1933年9月「試験管」より)

寅彦は「すべての周期的ないし擬周期的曲線は音として現すことができる。たとえば験潮儀に記録されたある港の潮汐昇降の曲線をレコード盤に刻んでおいてこれを蓄音機にかければ、たぶんかなり美しい楽音として聞かれるであろう」と述べている。さらにこの「潮汐の唄」を聴くことによって、各地の潮汐のタイプを分類したり、異常を発見できるかもしれないとも言っている。蓄音機に夢中になったりバイオリン演奏を好んだ寅彦らしい発想である。驚くのは寅彦が続けて「同じように米相場や株式の高下の曲線を音に翻訳することもできなくはないはずである」と述べていることである。寅彦はゆらぎを分析することにより、複雑な現象の本質を暴くことができるという発想に達していたようである。

別なエッセイ(『自然界の縞模様』、1933)で寅彦は、物質界だけでなく樹の年輪など生物界にはさまざま周期パターンが見出されることを指摘し、その周期からのずれ(不規則性)が統計的に重要であると述べている。この不規則さを周期に分解してそのスペクトル強度をとれば連続関数になるから、それを調べれば「不規則なパターンを物理学の圏外に追いやる必要はない」とも言っている。寅彦が1/f ゆらぎ発見の直前まで迫っていたことは明らかである。寅彦は十歩も百歩も先を歩んでいたわけである。

3) サイズの生物学 — 一生に打つ心拍数はみな同じ

犬や猫の寿命は短い。ハムスターやマウスの寿命はもっと短い。一方ゾウやカバの寿命

はずいぶんと長い。サイズが大きい（体重が重い）動物ほどその寿命が長いことは経験的に知られていた。その関係を調べあげ、横軸を体重W、縦軸を寿命Tとして両対数グラフにプロットしたのが図3である。データは直線上によく並び、その直線の傾きから、寿命Tは体重Wの0.2乗に比例するという「べき則」が成り立つことが分かる。なおこのべき則から著しく外れているのは現代人である。体重60Kgの人にこの関係を当てはめると、（動物としての）ヒトの寿命は26年ほどになる。一方現代日本人の寿命は女性82年、男性で76年ほどもあり、これは数値だけで比較すればゾウの寿命に匹敵する。

寿命と体重の関係

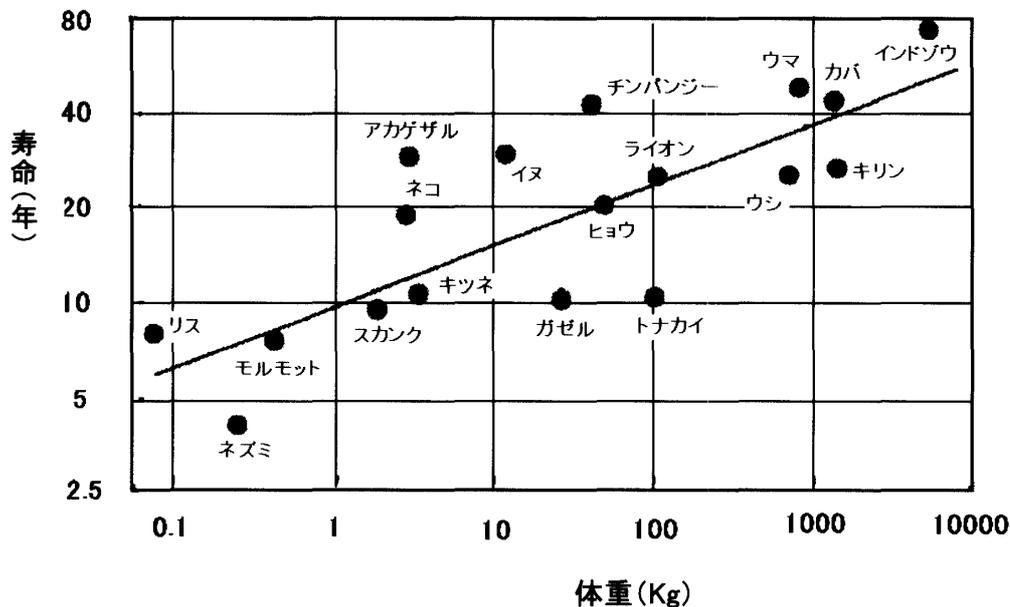


図3 寿命と体重の関係

体重の小さい動物ほど短命で、体重の大きい動物ほど長命である。体重を横軸、寿命を縦軸にとってその関係を両対数グラフにプロットすると、傾きが1/4の直線で近似できることが分かる。本川達雄『人間大学・生物のデザイン』NHK出版（1995）の図を元に作成。

人の心拍数は安静状態で毎分60ほどである。小動物をペットにしている人は気づいたかも知れないが、小動物の心臓はかなり早く打っている。人がドッキンドッキンならば子猫はトクトクトクという感じである。動物園の飼育係でもない経験できないことだが、ゾウの心臓はとてとゆっくりと打っている。動物の体重と心拍の間隔（心周期）を調べ、それを両対数グラフにプロットしたのが図4である。このグラフから、動物の心周期Pと体重Wとの間にはやはりべき法則が成り立ち、PはWの0.25乗に比例することが分かる。

心周期と体重の関係

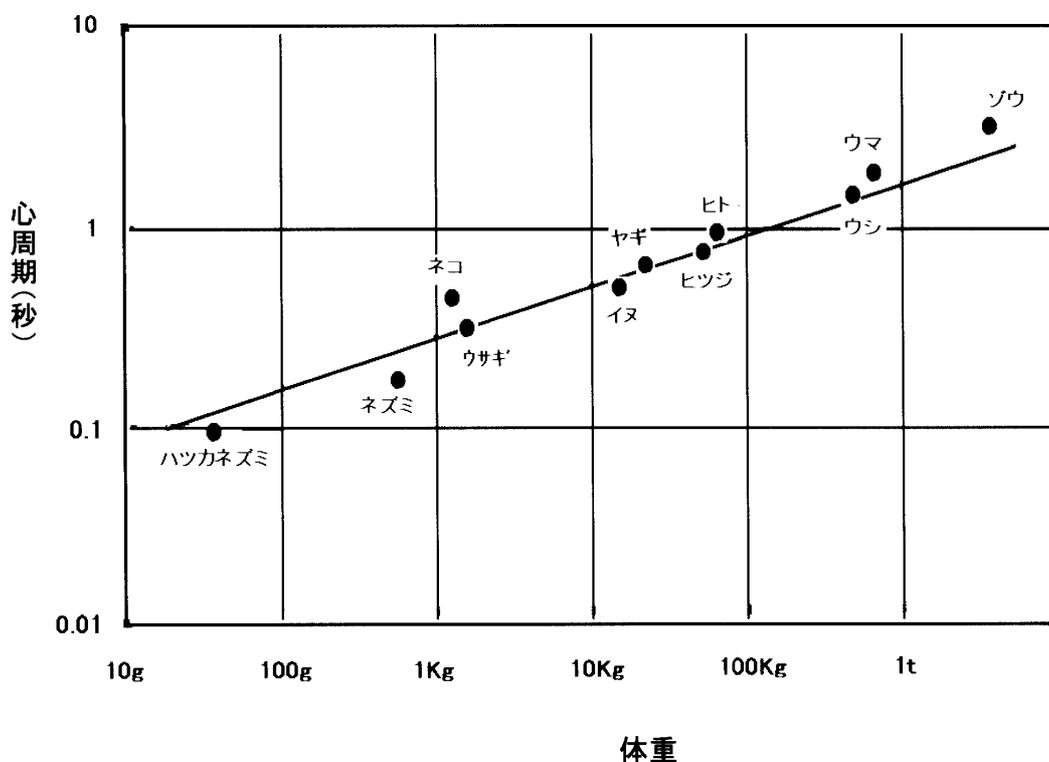


図4 心周期と体重の関係

体重の小さい動物ほど心臓の鼓動は速く、体重の大きい動物ほど心臓の鼓動はゆっくりである。体重を横軸、心周期（鼓動の間隔）を縦軸にとり、その関係を両対数グラフにプロットすると、図3に示した寿命と体重の関係と同じように、傾きが1/4の直線で近似できることが分かる。本川達雄『人間大学・生物のデザイン』NHK出版（1995）の図を元に作成。

寿命も心周期も動物の時間を特徴づける量である。それと動物の体重（サイズ）の間には簡単なべき則が成り立っている。ところがこれはべき則のほんの一部に過ぎない。成獣の50%の大きさに達する時間、性的に成熟する時間、懐胎期間、血球やリンパ球の寿命などは体重 W の0.18~0.29乗に比例する。また呼吸周期、腸の蠕動運動の周期、寒さで震える周期などは体重 W の0.18~0.31乗に比例する。

動物の時間とサイズの間によくべき法則が成り立つということは、その背後に何かある法則性があることを暗示している。生物学者はべき則を単なる近似関係と見ているようだが、複雑系の視点ではこれは一種の臨界ゆらぎであり、動物の体の基本設計に関わる極めて普遍的な法則（スケーリング則）と思われる。グラフは示さないが、動物細胞の代謝率 E と体重 W の間にもべき則が成り立ちその指数は0.75に近い値である。代謝率のべき則は、恒温動物だけでなく、変温動物、単細胞生物いずれの場合にも成り立ち、それは体重 W (Kg単位) でいえば実に18桁の広範囲にわたっている。

べき則（スケーリング則）の指数は整数や分数である場合が多い。もちろん理論的に証明しなければならないことではあるが、寿命や心周期（時間）の指数は1/4 (=0.25)、代

謝率（エネルギー消費）の指数は3/4（=0.75）であるとしよう（実際のデータに見られるのはばらつき）。この仮定に基づいて、寿命Tを心周期Pで割り算すると、分母と分子とが相殺してW依存性が消えてしまう。したがって動物の心臓が一生の間に打つ回数は、動物のサイズによらずおよそ15億回ということになる。同じく動物の呼吸数は、サイズによらず一生の間におよそ4億回となる。この峻厳たる事実を、動物学者の本川達夫は『一生の歌』のなかで「ゾウさんもネコもネズミも心臓は、ドッキンドッキンドッキンと15億回打って止まる（以下略）」と歌っている。

ここで「引用3」をじっくり読んでいただきたい。

引用3

さて、われわれは時の長さをこの秒で測ると同時に、またそれを「感じ」る。多数の秒数が経過したということは、その間にたくさん歩きたくさん踊ったということであり、結局たくさん「こと」をしたことである。人間の人間的生活をそれだけ多くしたということである。換言するとそれだけ多く「生きた」ということである。

こう考えてくると、われわれの「寿命」すなわち「生きる期間」の長短を測る単位は、われわれの身体の固有振動周期だということになる。

そこで、いまかりにこびとの国があって、その国の人間の身体の周期がわれわれの周期の十分の一であったとする。すると、これらのこびとのダンスはわれわれの眼には実に目まぐるしいほどテンポが速くて、どんなステップを踏んでいるか判断ができないくらいであろう。しかしそれだけの速い運動を支配し調節するためには、それ相当に速く働く神経をもっていなければならない。その速い神経で感じる時間感は、われわれの感じるとはかなりちがったものであろう。それで、ことによるとこれら一寸法師は、われわれの一秒をあたかもわれらの十秒ほどに感ずるかもしれない。そうだとすれば、彼らはわれわれのいわゆる十年生きても実際百年生きたと同じように感じるかもしれない。

朝生まれて晩に死ぬる小さな羽虫があって、その最も自然なはばたきが一秒に千回であるとする。するとこの虫にとっては、われわれの一日は彼らの千日に当たるのかもしれない。

森の茂みをくぐり飛ぶ小鳥が、決して木の葉の一枚にも触れない、あの敏捷さがわれわれの驚歎の的になるが、彼はまさに前記のこびとの国の住民であるのかもしれない。

象が何百年生きても彼らの「秒」が長いのであったら、必ずしも長寿とはいわれぬかもしれない。

（『身長と寿命』1932年3月「空想日録」より）

我々の身体には固有の振動周期があり、それが「秒」を感じることだと寅彦は言っている。したがってたくさんの秒数が経過すれば我々はそれだけ長く「生きた」と感じる。一方、固有の振動周期が1/10のこびとの世界では「われわれの一秒をあたかもわれらの十秒ほどに感ずるかもしれない。そうだとすれば、彼らはわれわれのいわゆる十年生きても実際

百年生きたと同じように感じるかもしれない」と述べている。さらに我々の一日は羽虫の千日に当るかもしれない、象が何百年生きても必ずしも長寿とはいわれないかもしれないとも述べているのは、まさに慧眼というべきである。寅彦はサイズの生物学でも先達であった。

4) 免疫 — 天の配剤

細菌やウイルスなどの異物が体内に侵入したとき、それを感知して速やかに異物を排除するのが免疫系である。一度ある病気にかかると、二度と同じ病気にはかからない（あるいは軽くて済む）という経験から、免疫系の存在は古くから知られていた（免疫の語源は「二度無し」）。しかし免疫系の複雑なはたらきが細胞レベルで明らかになったのは比較的最近のことである。

免疫系の主役はリンパ球（T細胞、B細胞）とマクロファージである。これらはいずれも骨髄中の造血幹細胞が成熟し分化したものである。これらの細胞（免疫担当細胞）はシグナル分子を介して情報を交換し、複雑な免疫作用を巧妙に自己制御（セルフ・コントロール）している。

免疫反応が起きるためには、侵入した異物（抗原）が免疫系によって非自己と識別されなければならない。細菌などが侵入すると、マクロファージはそれを食作用によって取り込み、ばらばらに分解した上でその断片をMHCという分子に結合し、細胞表面に提示する。MHC分子とは細胞膜表面に掲げられた自己の「旗印」である。この旗印が抗原の断片によって修飾を受けると、マクロファージの周りに集まってきたヘルパーT細胞がそのわずかな変化を感知する。これが非自己の認識過程である。活性化したヘルパーT細胞はシグナル物質（インターロイキン）を放出しB細胞を刺激する。T細胞からの刺激を受けて活性化したB細胞は抗体を大量に生産する。この抗体が異物を攻撃しすみやかに排除する。侵入した異物がウイルスの場合は、抗原（ウイルス遺伝子）が細胞内部に潜ってしまうため、抗体による攻撃はもはや効果がない。しかしウイルスに感染した細胞のMHC分子も何らかの修飾を受ける。その変化を感知したキラーT細胞は、非自己化した感染細胞にとりつき、細胞傷害作用によって破壊する。癌などによって「変質」した自己の細胞を識別し、細胞ごと破壊するのも主にキラーT細胞である。なお免疫作用が激烈なのは、抗原と特異的に結合する抗体（鍵穴と鍵の関係）を持つB細胞だけが選択的に分化増殖するからである。B細胞の抗体遺伝子はランダムな組替えを起こすので、どんなタイプの抗原に対しても、それに特異的な抗体を生産できるB細胞が存在する。またB細胞には記憶作用があり、同じ異物が再び侵入したときは、免疫反応がより速やかに発動される。

自己と非自己とを識別しB細胞に分化増殖のシグナルを発するヘルパーT細胞は、まさに免疫系の司令塔である。アポトーシスの項でも述べたように、T細胞はこの識別能力を獲得するために、分化成熟の過程において厳しい「教育」を受ける。教育の場は胸腺である。T細胞はここで胸腺細胞のMHC分子（とそれに結合した自己の断片）を提示される。そ

れを全く認識できないものや、それと過剰な反応を示すものはアポトーシスのスイッチが入って死んでしまう。その割合は97～99%にも達する。ヘルパーT細胞は胸腺でまず自己を学ぶわけである。

誕生後、我々はさまざまな非自己の侵入にさらされる。ヘルパーT細胞は侵入した非自己を学習し、B細胞は免疫記憶を蓄積する。免疫系は非自己によって活性化されることにより、内部および外部環境に強く依存したシステムとして、徐々に自己組織化されていく。同一のゲノムを持った一卵性双生児でも、育った環境が異なれば完成する免疫系は全然別ものとなる。これは誕生後の学習により自己組織化されていく脳と似ている。

免疫系が何らかの原因で変調をきたすと、健康にさまざまな障害が起きる。抗原を効果的に排除できなくなって、病気からの回復が遅れたり独自には回復できなくなる。自己と非自己との識別があいまいになり、自己を非自己と誤って攻撃する免疫系の「反乱」が起きる。これは自己免疫疾患と呼ばれ、難病の多くがこれに属する。

免疫系にはその活性化を逆に抑える仕組みもある。外部環境と直接接している皮膚や消化器の外皮は、常に非自己の侵入にさらされている。非自己といっても健康に実害のない細菌は多いし、摂取した食物は消化吸收しなければならない。このために免疫系はある種の非自己に対して免疫作用を発動しない「寛容」という機構を持っている。アレルギーはこの寛容機構に不調が生じたために起きる。

アレルギーは現代病とも言われる。一昔前は、アレルギーがこれほど問題になることはなかったという。その原因として有力視されているのは、衛生上の要求および清潔への嗜好によって、我々の身の周りから多くの「ばい菌」が消えてしまったことである。免疫系はばい菌によって活性化され、またばい菌によって寛容を獲得する。環境が変わり、ばい菌が消失し、その結果免疫系が変容したために、従来は問題にもならなかった花粉とかカビとかに免疫系が過剰に反応し、アレルギー症状を引き起こすというわけである。また現代人の免疫力の低下の原因も、この環境変化にあると言われている。

ここで「引用4」を読みましょう。

引用4

蛆がきたないのではなくて、人間や自然が作ったきたないものを浄化するために蛆がその全力をつくすのである。尊重はしても軽侮すべきなんらの理由もない道理である。

(中略)

しかし蠅を取りつくすことはほとんど不可能に近いばかりでなく、これを絶滅すると同時に、蛆もこの世界から姿を消す、するとそこらの物陰にいろいろの蛋白質が腐敗して、いろいろのばいきんを繁殖させ、そのばいきんはめぐりめぐって、やはりどこかで人間に仇をするかもしれない。

自然界の平衡状態は試験管内の化学的平衡のような簡単なものではない。ただ一種の小動物だけでも、その影響の及ぶところははかり知られぬ無辺の幅員をもっているであろう。その害の一端のみを見てただちにそのものの無用を論ずるのは、あまりにあさはかな量見

であるかもしれない。

蠅がばいきんをまきちらす、そうしてわれわれは知らずに、年中少しずつそれらのばいきんを吸い込みのみ込んでいるために、自然にそれらに対する抵抗力をわれわれの体中に養成しているのかもしれない。そのおかげで、何かの機会に蠅以外の媒介によって、多量のばいきんを取り込んだときでも、それにたえられるだけの資格がそなわっているのかもしれない。換言すれば、蠅はわれわれの五体をワクチン製造所として奉職する技師技手の亜類であるかもしれないのである。

これはもちろん空想である。しかし蠅を絶滅するというのなら、その前に自分のこの空想の誤謬を実証的に確かめた上にしてもらいたいと思うのである。(中略)

○を押さえると△があばれだす。天然の設計による平衡を乱す前には、よほどよく考えてかからないと危険なものである。

(『蛆の効用』1935年2月「自由画稿」より)

寅彦は当時喧伝された「ハエ撲滅運動」に反対してこのエッセイを書いている。単に蛆のはたらきだけではなく、ハエが撒き散らすばい菌の役割についても考察している。また「自然界の平衡状態は試験管内の化学的平衡のような簡単なものではなく、その害の一端のみを見てただちにそのものの無用を論ずるのは、あまりにあさはかな量見であるかもしれない」という指摘はとても鋭い。生態系の連鎖は非常に複雑であり、いま平衡状態にあると思われる系が、将来もずっと安定であるとは限らない。内部擾乱(ゆらぎ)や外部環境のわずかな変化に対し、生態系はひどく敏感であり、平衡状態が容易に崩れてしまったり、別な平衡状態に転移することがある。不規則なカオス状態に転移することもある。「○を押さえると△があばれだす。天然の設計による平衡を乱す前には、よほどよく考えてかからないと危険なものである」という寅彦の言葉は肝に銘じるべきである。

別なエッセイで寅彦はまた「自然界ではこのように、利己がすなわち利他であるようにうまく仕組まれた天の配剤、自然の均衡といったようなものの例が非常に多いようである。よく考えてみると人間の場合でも、各自が完全に自己を保存するように努力さえしていれば、結局はすべての他のものの保存に有利であるという場合がかなり多いような気がする。人を苦しめ泣かせる行為は、結局自分をいじめ殺す行為であるような気もするのである」(『草をのぞく』1933年10月「沓掛」と述べている。「自然との共生」とか「持続性を持った発展」とかいうスローガンが、ともすれば安易に掲げられる現代社会であるが、それがはたして「天の配剤」や「自然の均衡」と整合性を持ったものであるかどうかを、われわれは常に自問しなければならない。

以上、アポトーシス、1/f ゆらぎ、サイズの生物学、および免疫を例にとって、寅彦と生命科学との関わりを論じた。それでもまだ十分に話し足りたという気はしない。つくづく寅彦とは、話し始めるときりがなく、きりなく話さないと分からない人である。しかし真っ先に紹介したい肝心なことについては一応の説明を終えたので、このへんで一旦筆を

置き、この節の最後にその他のことがらをまとめることにする。

5) その他のことがら

寅彦は植物が見せる動的な振舞い（花が開いたり種が弾けたり）や、昆虫や鳥の不思議な行動にも強い関心を示している。『蓑虫と蜘蛛』（1921）や『蜂が団子をこしらえる話』（1921）の中で、寅彦は昆虫の行動を驚嘆の眼で観察し記述している。その内容は、近年の動物行動学のテキストを彷彿とさせるものがある。

『とんぼ』というエッセイには、ふとしたことから電線にとまったとんぼが、いずれもある一定の方向を向いていることに気づく話がある。不思議に思ってその後もとんぼの観察を続けた寅彦は、やがてとんぼのとまる向きを決めている第一の要因は、微弱な風（人には感知できないほど弱い）であることを突き止める。最初寅彦は太陽光がとんぼのとまる方向を決めると誤解していたのだが、それは実は二次的な要因であった。こうしたいきさつを述べた後、寅彦は次のように続けている。

引用5

人間をとんぼに比較するのはあまりに無分別かもしれない。しかし、有る時代のある国民の思想の動向をある方向に引き向ける、第一、第二の因子が何かしら存在している、それを観察し認識する能力が現在のわれわれには欠けているのではないかという気がする。そうしていっそう難儀なことは、その根本的な無知を自覚しないで、本当はわからないことをわかったつもりになったり、あるいは第二次異化の末梢的因子を第一次の因子と誤認したりして、とほうもなくまちがった施設方策をもって世の中に横車を押そうとするもののあることである。

（『とんぼ』1935年「三斜晶系」より）

人間社会は言うまでもなく複雑である。国民の思想の動向を取り上げても、さまざまな内的外的要因が複雑に相関しあっているのだから、それを何かある方向へ引き向けるように制御することはできそうもないというのが、大方の「常識」ではないだろうか。しかし寅彦は、（とんぼのとまる向きを決める簡単な要因があるように）人々の思想の動向を方向づける何かある法則が存在するに違いないと述べている。ただ現在の我々にはそれを認識する能力が欠けているし、その無知であることを自覚しなかったり、あるいは無知をいいことに国民を欺くものさえある、と寅彦は続けている。書かれた時代の背景（長い世界戦争への道程）を考えると、このエッセイには意味深いものがある。政治学や歴史学や社会学の研究者にぜひ考えてほしいテーマである。

『からすうりの花と蛾』（1932、中央公論）では、からすうりの花を目指して蛾が一直線に飛んでくるといふ話（あたかも蛾は自分が飛ぶ道を知っているかのように）から始めて、生物世界と比べればわれわれ人間の機械文明など取るに足りないことを述べてい

る。そして「二十世紀の前半は人間がいちばん思い上がり、天然というものをばかにしているつもりで、ほんとうは最も多く天然にばかにされている時代かもしれない」と言っている。「天然の玄関をちらとのぞいただけで、もうことごとく天然を征服した気持ちになっている」という一節はまことに痛烈である。そして科学の進歩にとって大切なのは、「もう少し謙遜な心持ちで自然と人間を熟視し、そうして本気でまじめに落ち着いて自然と人間から物を教わる気になる」ことであると述べている。

寅彦が日本の科学研究の風潮に少なからぬ不満を持っていたことは、「西洋の学者の眼ばかりを通して自然を見ているのでは日本の物理はいつまでも発展しない」（1926、日記）とか、「西洋の学者の掘り散らしたあとへ、はるばるおくれればせに鉱石のかけらをさがしに行くのもいいが、われわれの脚元に埋もれている宝をも忘れてはならない」（1927、『線香花火』）という記述からも明らかである。「従来用いふるした解析的方法に容易にかかるような現象は誰もかも手をつけて研究するが、従来の方法だけでは手におえないような現象は、たとえ眼前に富士山のようにそびえていても一切見て見ぬ振りをしていくという傾向がたしかにあるのである」（1934、中央公論）という痛烈な批判の言葉は、寅彦の死の前年に書かれている。

寅彦は教育に関しても数々の直言をしている。そのいくつかを次に示そう。

引用6

大学が事柄を教えるところではなく、学問の仕方を教え、学問の興味を起こさせるころであればよい。本当の勉強は卒業後である。歩き方を教えてやれば卒業後にめいめい行きたいところへ行く。歩くことを教えないで、むやみに重荷ばかり負わせて学生をおしつぶしてしまうのはよろしくない。

（1925年の日記より）

震災や火災や風水害に関する科学的常識とこれに対する平生の心得といったようなものを小学校の教科書に入れるということは、日本のような国では実に必要なことである。これはほとんど「問題にならぬ」ほど明白なことであると思われるのに、これがどういうわけだかいつこうに実行されていないので時々「問題になる」ようである。自分の想像するところでは、結局教科書を編纂する機関の中に科学的な頭脳とその主動的な要素が欠除しているのではないかと思われる。もしかこの想像がいくぶんでも当たっていたら、はなはだ逆説的な言い分ではあるが、小学生を教える前にまず文部省を教育しなければならないのだと言われるかもしれない。小学教科書の編纂にはやはり単に文科方面のみならずあらゆる主要な自然科学の各部門からの代表者を集めて資料選択の任に当らせる必要があるかと思われる。（中略）児童教育より前にやはりおとなであるところの教育者ならびに教育の事をつかさどる為政者を教育するのが肝要かもしれない。

（『柿の種』短章その二より）

風呂に限らず、われわれの日常生活でわれわれの科学的知識の欠乏のために、いろいろな損失をし、いろいろな危険を冒していることは、数え上げればその外にもずいぶんたくさんあるであろうと思われる。普通教育にも理科の課程がかなり豊富にあるようであるから、それがよくのみこめていけば、それだけでもひととおりはかなり役にたつべきではあるが、実際それがそうでないのは、教える方と教わる方の両方に罪があるであろう。教程や教授法にも改良の余地がたくさんにあるように思われるが、第一、教わる方に心がけと興味がなければ結局なんの効果もないわけである。

（『風呂の寒暖計』1931年「家庭の人へ」より）

10年たっても100年たっても、日本の理科教育の「構造上」の問題は一向に解決されていないことが分かる。ある意味では寅彦の時代より後退しているかも知れない。小中学校では生徒の理科ばなれが深刻化し、大学では高校で物理（生物）を履修しない工学部（医学部）学生が急増している。その一方で教育改革の度に理科教育の内容が削減されている。これは一種の悪循環なのだろうか？ また科学に興味がない学生の目を、どうやって科学に向けさせることができるだろうか。寅彦と同じように、それは学生の知的好奇心を刺激することであると著者は考える。好奇心のもとには遊び心であり、遊び心が帰するところは楽しみである。「遊んで学んで理解する」（ミュンヘン科学博物館の額）というのが学習の基本であり、どの一つが欠けても学習は成り立たない。教育とはそれを支援するための場であり、教師とはその良きガイド（案内人）ではないだろうか。

§ 6 おわりに

大正5年（1916）に亡くなった漱石を偲び、寅彦は『夏目漱石先生の追憶』（1932年12月）という追悼文を書いている。その冒頭には漱石との出会いの様子が記されている。寅彦が熊本第五高等学校の学生だったとき、英語でしくじった知人の救済運動のために、英語教師である漱石の私宅を訪ねたという。用件が済み雑談の末に、寅彦は「俳句とは一体どんなものですか」と質問をした。それに答えて漱石は「扇のかなめのような集注点を指摘し描写して、それから放散する連想の世界を暗示するものである」と説いたという。俳句の本質をこれほど簡潔に表現した言葉が他にあるだろうか。そしてこれは複雑系の科学そのものではないか。

東京に居を移してからの漱石との親交についても寅彦は書いている。漱石のあまり知られていない一面も浮かび上がっていて面白い。追悼文の最後の方で、寅彦は「自分にとっては先生（漱石）が俳句がうまかろうが、まずかろうが、英文学に通じていようがいまいが、そんなことはどうでもよかった。（中略）いろいろな不幸のために心が重くなったときに、先生に会って話をしていると心の重荷がいつの間にか軽くなっていた。不平や煩悶のために心の暗くなった時に先生と相対していると、そういう心の黒雲がきれいに吹き払

われ、新しい気分で自分の仕事に全力を注ぐことができた。先生という存在そのものが、心の糧となり医薬となるのであった」と率直な気持ちを述べている。漱石を失った寅彦の深い悲しみが伝わってくると同時に、著者には寅彦の実生活上での不幸や、研究上での苦悩が察せられるのである。寅彦本人もしばしば大病を患ったし、妻と子を病気で亡くしている。帝大内部では、大学教授の寅彦が匿名でエッセイを書いたり、一風変わった物理実験に熱中することに対して批判があった。「いろいろなものに手を出すがちっとも腰がすわっていない」とか、寅彦のは「小屋がけ」物理という辛辣な言葉が残っている。寅彦が働き盛りであった1910～20年代の物理学は、一般相対性理論、量子力学、量子化学、物性理論などが目まぐるしく発展を続けていた。学会の主流や世間の関心はもっぱらこれらの研究に向いていた。その渦中であって半ば異端視された寅彦の心中は、必ずしも平静ではなかったことだろう。そして寅彦の傷心を癒してくれる漱石は、寅彦にとってかけがえのない存在だったと推察される。

雲の観察を好んだ寅彦のために、著者が最後に示したいものがある。7年ほど前のことになるが、自宅（青森）のベランダで洗濯物を干していた妻が南の空に出現した異様な雲の模様気づいた。図5の二枚の写真は著者がそれをカメラで撮影したものである。空いっぱいには拡がった雲の巨視的パターンに一瞬夢を見ているような非現実的な気分になった。パターンは（気づいてから）10分ほど持続した後すうっと消えてしまった。これが実はサイン・ウエーブであるとかテラー・ロッドであるというのはいささか『野暮』な気がする。以前某全国紙の読者写真コーナーに「気象学者の感想を聞きたい」と付記して投稿したところ、担当者に「変わった雲ですね」の一言で済まされてしまった。この写真を見たら寅彦は何を想っただろうか、著者はぜひ尋ねてみたいと思うのである。

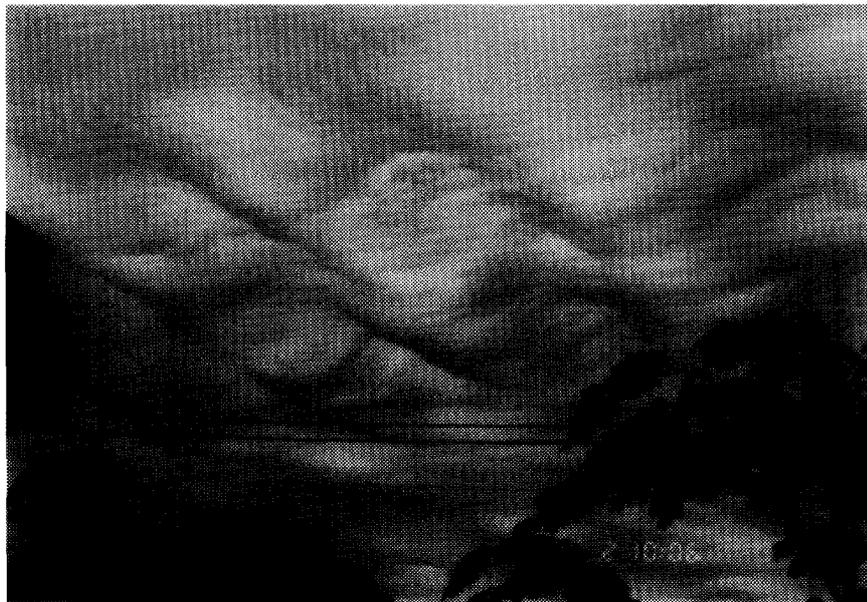


図5 雲の巨視的パターン形成

雲はしばしば巨視的スケールのパターンを形成することがある。この写真もその一例である。上から下へと雲の波状パターンが変化し、10分ほど後には消失した（1995年頃著者撮影）。

なおこの小論文のタイトルは、漱石を追悼して作った寅彦の次の短歌による。

俳句とはかかるものぞと説かれしより
天地開けて我が眼に新

意味はいささか違うが、著者にとって寅彦は「わが眼にあらた」であった。

付記

- 1) 2002年6月現在、インターネットで「寺田寅彦」を検索してみると、ヒット数は4000件以上にもなる。寅彦がいかに幅広い層に支持され、各方面に影響を与えているかが分かる。資料としては寅彦の学位論文「尺八の音響学的研究」を紹介した<http://www1.odn.ne.jp/kentaurus/torahiko31.htm>が面白い。また寅彦のエッセイが再編集されオンライン版（青空文庫）で公開されている。『寺田寅彦随筆集第一巻「自然と生物」』<http://www.aozora.gr.jp/cards/terada/terada01.html>、および『同随筆集第二巻「科学について」』<http://www.aozora.gr.jp/cards/terada/terada02.html>がそれで、寅彦の主な科学エッセイの全文を読むことができる。
- 2) § 4-4では寅彦のことを「話し始めるときりがなく、きりなく話さないと分からない人」と言ったが、実はこのフレーズは作家の赤瀬川原平が、孤高で反骨のジャーナリスト宮武外骨（1867～1955）に捧げた言葉を借用した。外骨は寅彦と同時代人であり、その人と作品は『学術小説・外骨という人がいた』（赤瀬川原平著、ちくま文庫、1991）に詳しく紹介されている。
- 3) この論文は寅彦の文章の引用が全体の1/3近くを占めた。そのことをまずご容赦いただくとともに、一流の文学者でもある寅彦の名文を味わってもらえれば幸いである。

(2002年6月25日受理)

参考文献

寺田寅彦関係

池内了編 『科学と科学者のはなし—寺田寅彦エッセイ集』岩波少年文庫（2000）

夏目漱石 『吾輩は猫である』岩波文庫（改版1990）

小宮豊隆編 『寺田寅彦随筆集1～5』岩波文庫（2000）

寺田寅彦 『柿の種』岩波文庫（1996）

寺田寅彦 『寺田寅彦—ちくま日本文学全集』筑摩書房（1992）

寺田寅彦 『俳句と地球物理』角川春樹事務所（1997）

松本哉 『寺田寅彦は忘れた頃にやって来る』集英社新書（2002）

戸田盛和 『おもちゃと金米糖—戸田盛和エッセイ集I』岩波書店（2002）

池内了編 『雪は天からの手紙—中谷宇吉郎エッセイ集』岩波少年文庫（2002）

複雑系・カオス・フラクタル関係

ベンワー・B・マンデルブロ 『フラクタル幾何学』日経サイエンス社（1985）

高安秀樹 『フラクタル』朝倉書店（1986）

高安秀樹編 『フラクタル科学』朝倉書店（1987）

H・O・パイトゲン、P・H・リヒター 『フラクタルの美—複素力学系のイメージ』シュプリンガー東京（1988）

タマス・ヴィチェック 『フラクタル成長現象』朝倉書店（1990）

ジェイムス・グリック 『カオス—新しい科学をつくる』新潮文庫（1991）

J・フェダー 『フラクタル』啓学出版（1991）

P・ベルジュ、Y・ポモウ、Ch・ビダル 『カオスの中の秩序』産業図書（1992）

松本貢編著 『医学・生物学におけるフラクタル』朝倉書店（1992）

イアン・スチュアート 『カオスの世界像—神はサイコロ遊びをするか?』白揚社（1992）

C・A・ピックオーバー 『コンピュータ カオス フラクタル』白揚社（1994）

田口善弘 『砂時計の七不思議—粉粒体の動力学』中公新書（1995）

M・M・ワールドロップ 『複雑系』新潮社（1996）

ジョン・キャストイ 『複雑系による科学革命』講談社（1997）

S・A・カウフマン 『自己組織化と進化の論理—宇宙を貫く複雑系の法則』日本経済新聞社（1999）

戸田盛和 『ソリトン、カオス、フラクタル—非線形の世界』岩波書店（1999）

上田・西村・稲垣 『複雑系を超えて—カオス発見から未来へ』筑摩書房（1999）

アポトーシス関係

三羽信比古編著 『細胞死の生物学』東京書籍（1993）

山田武・大山ハルミ 『アポトーシスの科学—プログラムされた細胞死』講談社ブルーボックス（1994）

田沼靖一 『アポトーシス—細胞の生と死』東京大学出版会（1994）

山田武・大山ハルミ他 『アポトーシス—細胞死の機能と機構』日経サイエンス社（1995）

田沼靖一 『遺伝子の夢—死の意味を問う生物学』NHKブックス（1997）

1/fゆらぎ関係

武者利光 『ゆらぎの発想—1/fゆらぎの謎にせまる』NHK出版（1994）

武者利光編 『ゆらぎの科学1～8巻』森北出版（1991～1998）

高安秀樹・高安美佐子 『経済・情報・生命の臨界ゆらぎ—複雑系科学で近未来を読む』ダイヤモンド社（2000）

サイズの生物学関係

本川達雄 『ゾウの時間ネズミの時間—サイズの生物学』中公新書（1992）

本川達雄 『歌う生物学』講談社（1993）

-
- 高木由臣 『生物の寿命と細胞の寿命』 平凡社（1993）
K・シュミットニールセン 『スケーリング：動物設計論—動物のサイズは何で決まるのか』 コロナ社（1995）
本川達雄 『時間—ヒトの視点とヒトの生き方』 NHK出版（1996）
- 免疫関係**
- 多田富雄 『免疫の意味論』 青土社（1993）
多田富雄 『免疫・「自己」と「非自己」の科学』 NHKブックス（2001）
三瀬勝利 『逆襲するバイ菌たち』 講談社（1998）
藤田紘一郎 『日本人の清潔がアブナイ』 小学館（2000）
- その他**
- 日高敏隆 『チョウはなぜ飛ぶか[新版]』 岩波書店（1998）
佐藤和弘 『地震の確率セルオートマトンモデル』 青森公立大学紀要2巻1号（1996）
佐藤和弘 『神経ネットモデルにおける臨界現象』 青森公立大学紀要3巻1号（1997）
佐藤和弘 『マンデルブロ集合は生物である』 青森公立大学紀要5巻2号（2000）